26237 Dup.

UNE METHODE INTEGREE POUR LE DESIGN DES PIECES DE PLASTIQUES INJECTEES

IGM86-107-342
CNRC 26237

par

Patrick Girard
Conseil national de recherches du Canada
Institut de génie des matériaux
75, boul. de Mortagne
Boucherville, Québec J4B 6Y4

RESUME

Le calcul des moules d'injection pour les matières plastiques conduit à des problèmes rhéologiques, thermiques, mécaniques et financiers. L'approche intégrée qui sera présentée permet de résoudre ces problèmes à partir d'un système de programmes modulaires et d'une base de données très flexible.

Ce système est basé sur un programme de simulation du procédé d'injection permettant une étude poussée du comportement rhéologique du matériau lors du processus d'injection en utilisant plusieurs équations de viscosité adaptées a la résine utilisé. Une analyse thermique de la position des canaux de refroidissements et un système d'équilibrage des canaux d'injection est aussi prévue. Une des particularités est la base de données: plusieurs matériaux peuvent être incorporés: matière plastique, métal, liquide de refroidissement ou gaz.

UNE METHODE INTEGREE POUR LE DESIGN DES PIECES DE PLASTIQUES INJECTEES

par

Patrick Girard
Conseil national de recherches du Canada
Institut de génie des matériaux
75, boul. de Mortagne
Boucherville, Québec J4B 6Y4

INTRODUCTION

La technologie de conception et de fabrication assistée par ordinateur est associée à des gains considérables de productivité. Cependant, dans la majorité des cas, les applications industrielles se restreignent à deux activités seulement: le dessin et l'usinage assistés par ordinateur. Ceci pose de nombreux problèmes de compatibilité à l'entreprise qui doit sous-traiter certaines phases du développement d'un moule comme l'analyse de l'écoulement et du refroidissement à d'autres compagnies équipées de matériel différent.

Le prix des logiciels disponibles pour l'analyse des pièces de plastiques actuellement est très élevé, mais ceci n'est qu'un des problèmes qui limite leur utilisation Un autre est la nécessité d'utiliser différentes bases de données pour les moules, les matériaux, les procédés et les produits. La capacité supplémentaire apportée par un système intégrant toutes les étapes de la fabrication, (incorporant des bases de données de matériaux et d'outillage et un système expert tels que définis à la figure 1) et les gains de productivité qui peuvent en résulter commencent seulement à être réalisés. Etant donné le rythme du développement de la CFAO, de tels systèmes deviendront cependant rapidement nécessaires à l'industrie des plastiques pour rester compétitive.

Un système intégré pour le moulage par injection peut être considéré comme la synthèse de plusieurs systèmes existants séparément à l'heure actuelle. Il se compose des éléments suivants:

- Une base de données des matériaux qui fournit aux programmes de calculs les propriétés nécessaires.
- Une bibliothèque de composantes qui consiste en une représentation solide des éléments standardisés, moules et pièces de moules.
- Des modules sur les procédés et les produits. Ces deux modules forment la base d'un système expert fournissant à l'utilisateur les renseignements qui lui sont nécessaires.
- Des programmes d'analyse interactifs qui permettent d'effectuer une simulation de l'injection, d'étudier le refroidissement du moule, la résistance mécanique de la pièce injectée et d'évaluer les implications économiques du design.

LA BASE DE DONNÉES DES MATÉRIAUX

Cette base de données inclut les propriétés des résines, des liquides ou des gaz de refroidissement et des aciers sous forme de propriétés constantes et de propriétés variables. Ceci est indispensable pour représenter les propriétés des polymères qui varient en fonction de la température et de la pression. Plusieurs équations différentes représentant la viscosité d'un polymère sont disponibles. Ceci permet d'utiliser pour un matériau les données provenant de sources différentes, qui utilisent souvent des représentations différentes de la viscosité et d'autres variables.

Le système de base comprend dans un premier temps une vingtaine de résines, les plus utilisées pour le moulage par injection. La possibilité d'installation par l'utilisateur des propriétés de ses propres grades d'injection est prévue. Il commence d'ailleurs à exister sur le marché des companies qui se spécialisent dans la fourniture de bases de données pour les programmes de simulation de l'injection et effectuent des essais sur des matériaux spécifiques.

BASE DE DONNEES

Certaines composantes des moules sont actuellement standardisées. Ce module permet d'effectuer rapidement la construction de moules à partir de ces éléments représentés sous forme solide. Une des particularités du système est de proposer un choix de canaux d'alimentation (fig. 2). Le concepteur choisit un modèle, prescrit quelques paramètres dimensionnels et obtient une représentation solide du système d'alimentation.

Le fait d'utiliser une représentation solide permet deux avantages principaux:

- Un gain de temps considérable par l'utilisation de l'algèbre booléenne: si on dispose de la représentation solide d'une pièce moulée et d'un plaque de moule standard, l'empreinte peut être obtenue par soustraction de la pièce moulée à la plaque et transmise directement à un programme d'usinage. Les systèmes de dessin peuvent facilement appliquer à la pièce à mouler un facteur de réduction correspondant au retrait envisagé.
- Une connaissance rapide des volumes de matière impliqués par le moulage ou les autres opérations d'usinage.

Les représentations des pièces ainsi générées peuvent alors être utilisées par les programmes d'usinage assisté par ordinateur.

MODULES DE PROCÉDÉS ET DE PRODUITS

Comme il a été dit précédemment, des modules forment la base d'un système expert. Ils sont conçus pour remplacer les abaques utilisées actuellement par les concepteurs et incluent les limitations des procédés, comme la température minimale et maximale d'injection et dimensions limites des canaux d'injection pour un plastique déterminé. Ces données peuvent être utilisées par le programme sous forme d'indicateur: message indiquant que la température du matériau dans le moule dépasse les limites permises

ou bien peuvent être intégrées aux calculs dans les programmes d'analyse, permettant d'avoir automatiquement le diamètre du canal d'injection pour un débit et un matériau donné. Par exemple, lors du calcul du temps de refroidissement de la pièce moulée, le programme calcule automatiquement les diamètres minimum et maximum de la carotte pour assurer un temps de maintien adéquat, donc une bonne qualité de la pièce.

PROGRAMMES D'ANALYSE INTERACTIFS

Les modules décrits précédemment permettent une augmentation considérable de productivité mais le coeur du système S.I.M.I. est constitué d'un ensemble de programmes d'analyse interactifs qui effectuent la simulation de l'injection, du refroidissement et de la résistance mécanique de la pièce. Ces programmes d'analyse s'intègrent avec les systèmes de dessins existants grâce à l'utilisation d'une interface adaptée au système particulier utilisé. Cette interface génère à partir de la définition de la géométrie de la pièce effectuée sur le système les dimensions utilisées pour le calcul. Les résultats peuvent être présentés de manière graphique sur un terminal. Les augmentations de productivité résultant de ces programmes ont été rapportées comme étant au moins équivalentes à celles apportées par l'implantation du dessin et de l'usinage assistés par ordinateur.

Une remarque préliminaire s'impose à propos de ces programmes: ils supposent la présence d'un opérateur qui connaisse les problèmes de l'injection. En effet, bien que la simulation s'effectue en quelques minutes, la préparation des données et l'interprétation des résultats exigent une bonne compétence de la part de l'utilisateur.

DEROULEMENT DE L'ANALYSE D'UNE PIECE

Le programme permet une étude complète de l'écoulement dans les canaux, dans les empreintes et calcule les valeurs suivantes:

- Température du matériau ainsi que le gradient de température en chaque point.

- Débit dans le moule ou temps de remplissage.
- Taux de cisaillement et contrainte de cisaillement.
- Pression nécessaire pour le remplissage du moule.

Le module d'étude de refroidissement de la pièce permet à partir de l'histoire du refroidissement de prédire le taux de cristallinité de la pièce moulée. En effet, les propriétés mécaniques varient considérablement avec le taux de cristallinité. La connaissance de l'histoire thermique de la pièce permet également de prédire le retrait ainsi que la stabilité dimensionnelle.

Pour tous ces programmes d'analyse, les paramètres d'entrée suivants sont requis:

- Géométrie de la pièce.
- Propriétés du matériau.
- Paramètres d'injection.

Les paramètres du moule ne sont pas compris ici car on considère que celui-ci est à température constante. Ceci est assuré séparément par un programme d'optimisation du design du moule,qui permet de déterminer la configuration des canaux de refroidissement.

L'analyse d'un moule suit le schéma de la figure 3. Tout d'abord, la représentation solide de la pièce est appelée. A partir de celle-ci, une représentation en mode filaire ("wire frame") est générée (fig. 4). Un programme de développement ("flat-pattern") permet une représentation à deux dimensions de la pièce (fig. 5). Sur ce développement, le nombre et la position des éléments de base sont choisis par l'opérateur en fonction des primitives disponibles. Les dimensions géométriques des éléments sont ensuite transmises aux programmes de calculs par l'interface précédemment décrite.

Lors de l'étude de la pièce, l'opérateur choisit le menu qui correspond à l'analyse qu'il veut effectuer (fig. 6). Les deux choix principaux sont, une analyse du remplissage des empreintes et une analyse des canaux d'injection

pour effectuer un équilibrage du système d'alimentation. Il cherche ensuite dans la base de données le matériau et précise la loi de viscosité qu'il veut utiliser. En effet, on dispose de plusieurs lois de viscosité différentes à l'heure actuelle. Ces lois permettent une meilleure représentation du comportement de certains matériaux, autorisent l'utilisation des données fournies suivant des normes différentes.

Après calcul, les résultats sont retransmis au système de dessin pour affichage. La figure 7 présente la variation de la température en fonction de la position le long de l'écoulement considéré. Ces résultats peuvent également être représentés sous formes de courbes de niveau

A partir du positionnement des empreintes dans le moule et de la pression d'injection calculée par les modules précédents, on peut évaluer les moules eux-mêmes au point de vue résistance mécanique. Ce module permet l'analyse du comportement des éléments principaux du moule dans les conditions de chargement et optimise ses dimensions.

Les avantages de ces programmes sont multiples:

- Leur aspect interactif permet à l'opérateur de simuler en quelques heures un processus qui prenait auparavant des semaines.
- La simulation obtenue permet de fonctionner beaucoup plus près des limites du procédé avec les augmentations de productivité qui en résultent.
- La connaissance de l'évolution des variables du procédé à l'intérieur du moule permet de cerner les points critiques et d'adapter le design.

CONCLUSION

Le mot clé qui caractérise cette méthode intégrée de design des pièces de plastiques est optimisation. Cette optimisation est acquise grâce à un processus interactif qui permet d'analyser toutes les facettes de la performance du moule avant sa fabrication. Des bases de données et des programmes experts rendent immédiatement accessibles à l'utilisateur les

renseignements qui lui sont nécessaires. La méthode permet de diminuer considérablement les coûts de mise au point d'un moule. Ses principaux bénéfices sont:

- Optimisation de la "moulabilité" du produit au niveau conception du moule et de la pièce.
- Diminution du temps de mise au point sur les presses à injection.
- Diminution du temps de cycle.
- Amélioration de la qualité de la pièce.
- Diminution du temps de développement des moules.
- Optimisation de l'utilisation de la matière non seulement pour les pièces injectées mais aussi pour la fabrication des moules.

Actuellement, les effets combinés du manque de main-d'oeuvre qualifiée, de la nécessité de fournir des pièces plus compliquées avec un temps de mise au point minimum poussent les companies de l'industrie des plastiques à une intégration maximale de développement des moules à l'intérieur de l'entreprise. Les outils technologiques sont disponibles et le défi qui se pose est d'être capable de fournir aujourd'hui l'investissement nécessaire pour leur développement futur.

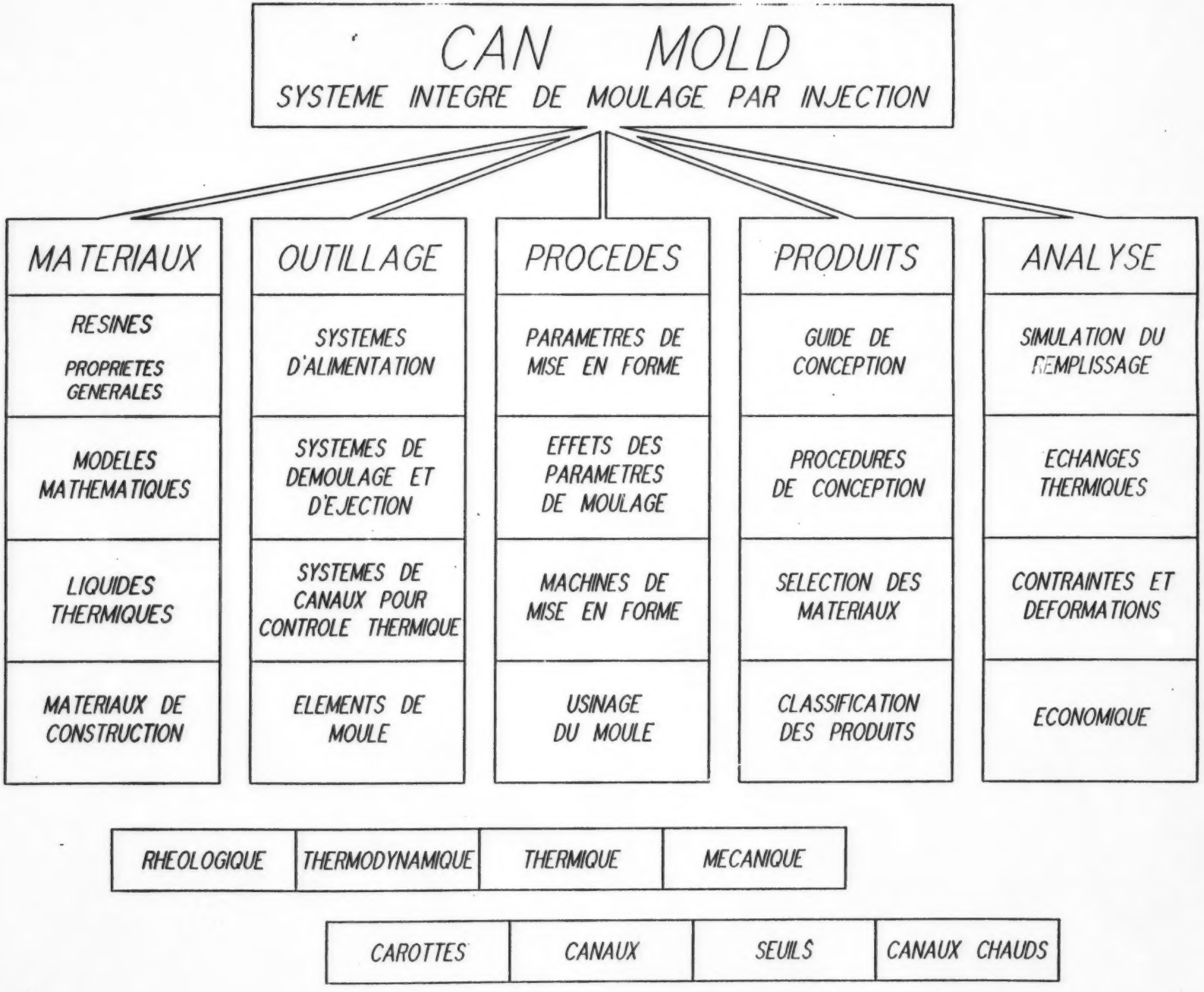


FIGURE 1 : Système Intégré de Moulage par Ordinateur

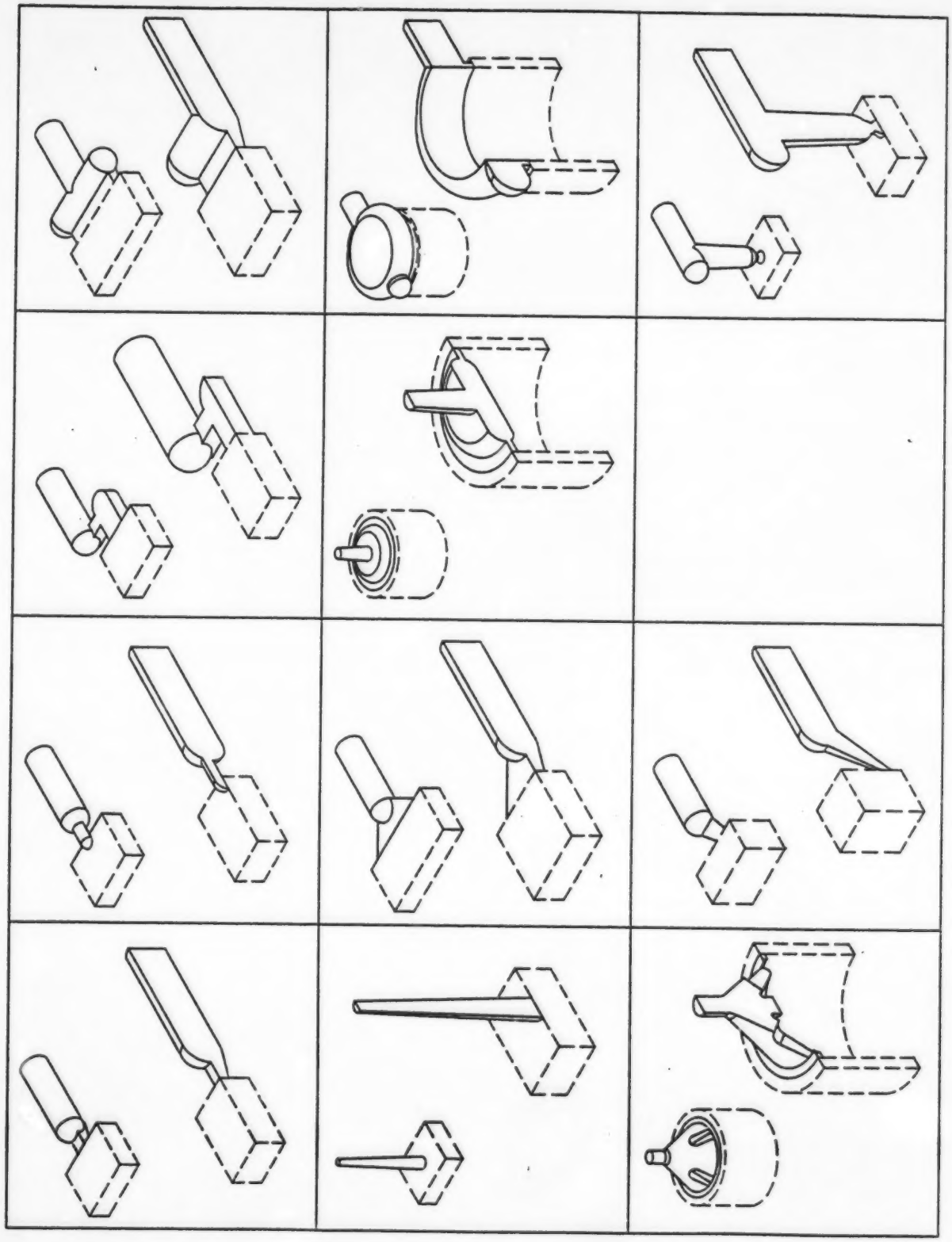
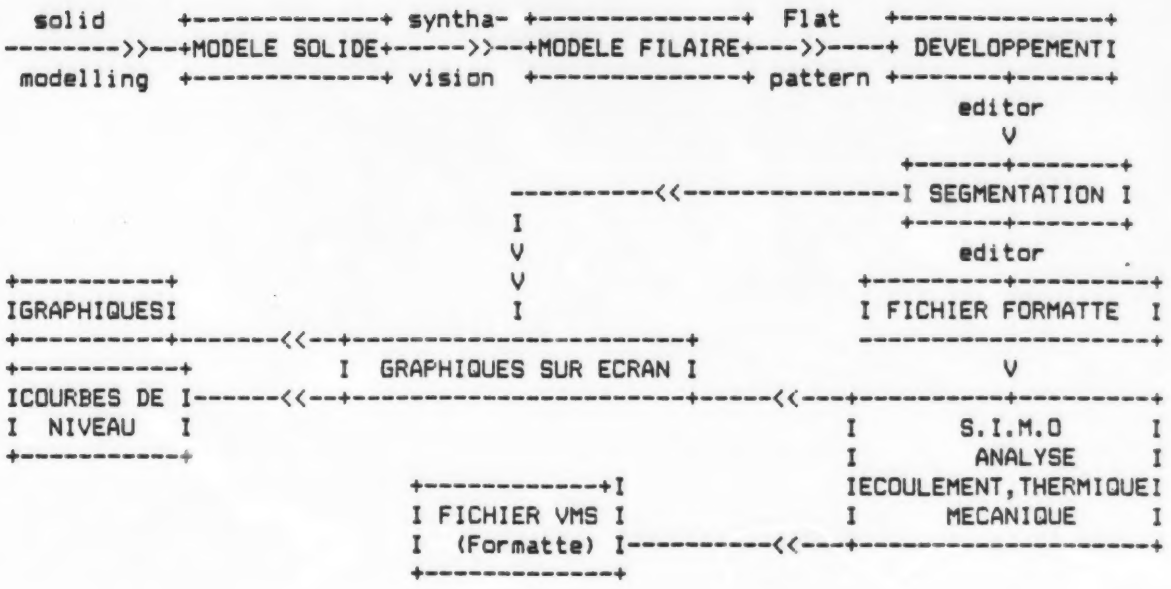


FIGURE 2 : Choix de canaux d'alimentation



Petits caractères: Logiciels d'application du système graphique
Gros caractères: Etapes de l'analyse d'une pièce

FIGURE 3 : Etapes de l'analyse d'une pièce

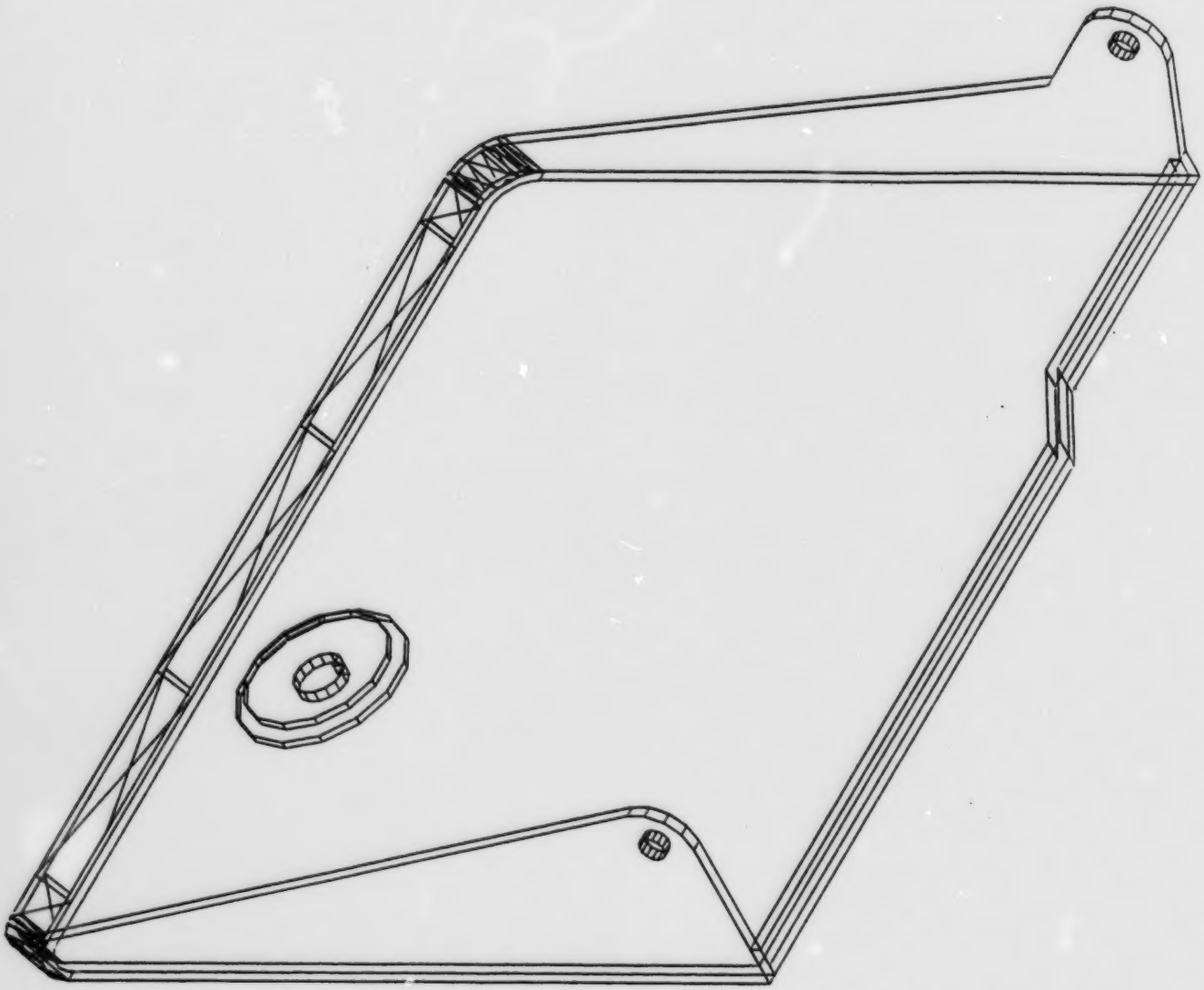


FIGURE 4 : Représentation filaire

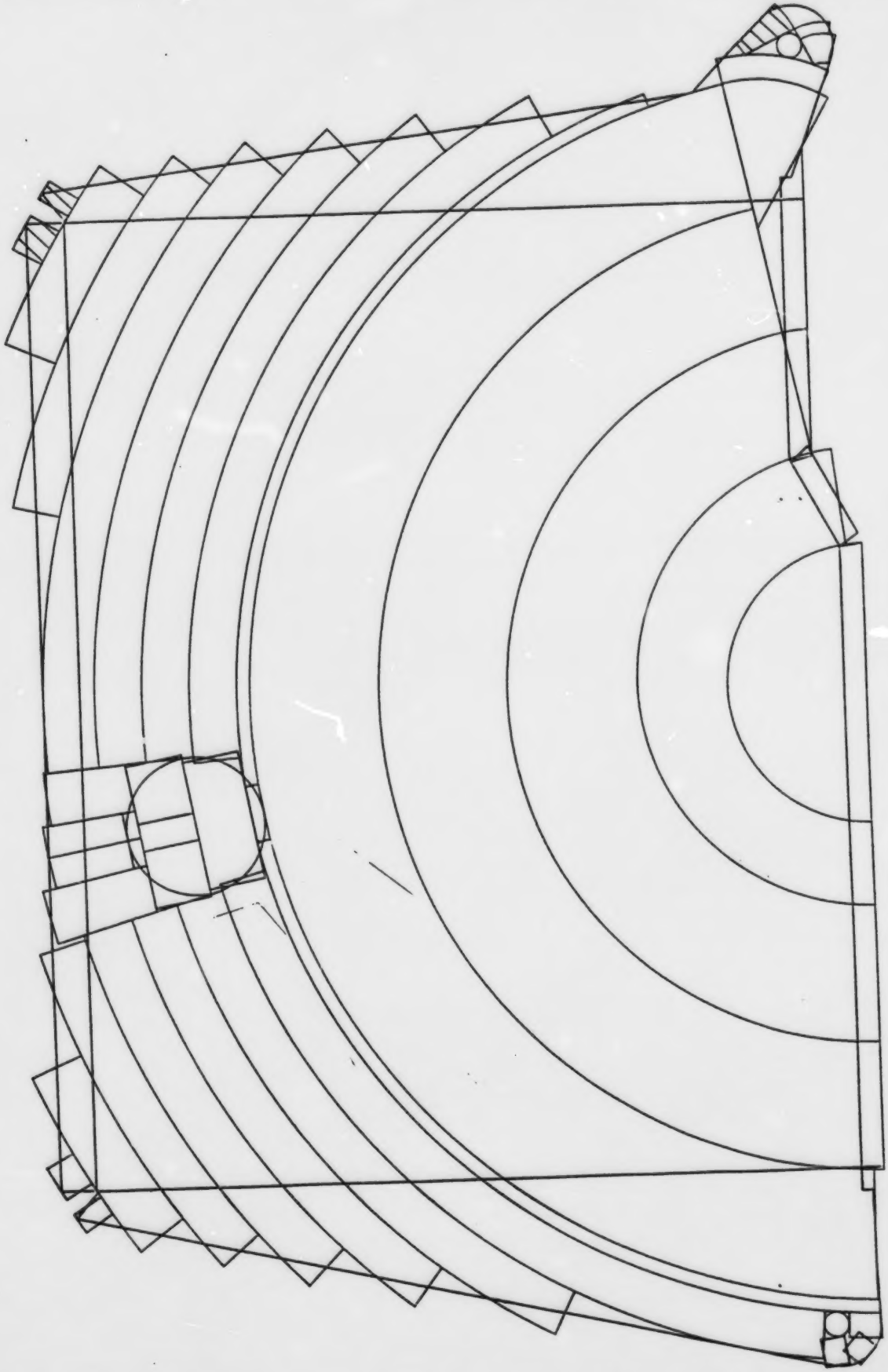


FIGURE 5 : Développement de la pièce à mouler

```
      CHOIX DU MODULE
   ---------------------------------------

   M E N U  1
    1 = INFORMATION
    2 = MATERIAUX
    3 = TRAITEMENT DE DONNEES
    4 = ETUDE RHEOLOGIQUE
    5 = ETUDE THERMIQUE
    6 = ETUDE MECHANIQUE
    7 = ETUDE TECHNIQUE ET ECONOMIQUE
    8 = STANDARDISATION
    9 = SERVICE NUMERIQUE
   10 = AUTRES
    0 = FIN
---

0.200E+01  ?
4

        ETUDE RHEOLOGIQUE
   ---------------------------------------

         CHOIX DU PROGRAMME
   ----------------.----------------------

  M E N U  41
    1 = GEOMETRIE DE BASE
    2 = GEOMETRIE DE BASE AVEC VISCOSITE VARIABLE
    3 = GEOMETRIES DE BASE COMBINEES
    4 = GEOMETRIES COMBINEES AVEC VISCOSITE VARIABLE
    5 = EQUILIBRAGE DES CANAUX D'INJECTION
    6 = EQUILIBRAGE DES CANAUX AVEC VISCOSITES VARIABLE
    0 = AUTRES ETUDES
---

0.000E+00  ?
```

FIGURE 6 : **Menu principal du programme**

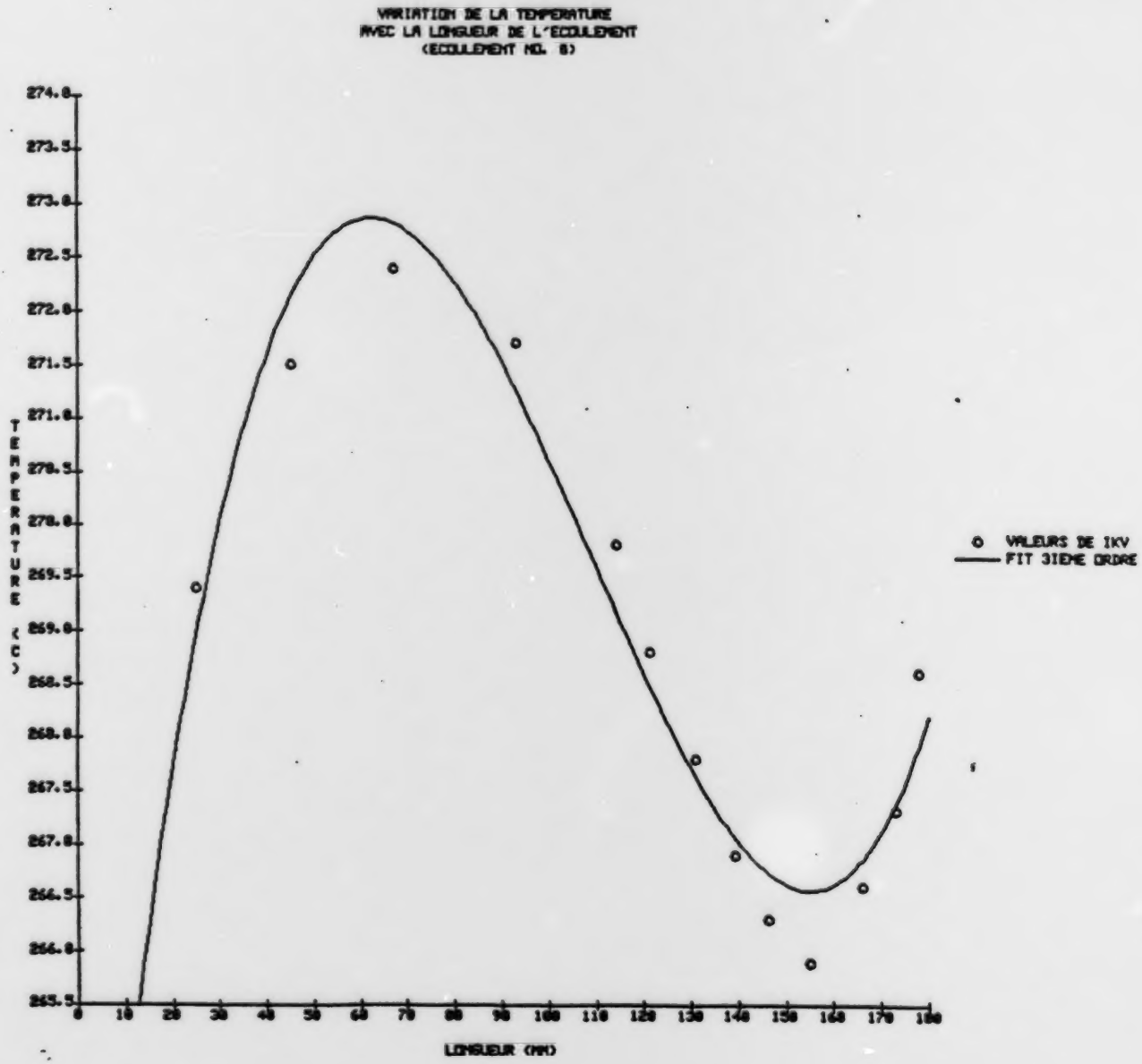


FIGURE 7 : Variation de température le long de l'écoulement